Sodium

The aesthetic objective for sodium in drinking water is *≤200 mg/L*. The taste of drinking water is generally considered offensive at sodium concentrations above the aesthetic objective. Sodium is not considered a toxic element; up to 5 g/day of sodium is consumed by normal adults. Although the average intake of sodium from drinking water is only a small fraction of that consumed in a normal diet, the intake from this source could be significant for persons suffering from hypertension or congestive heart failure who may require a sodium-restricted diet.

General

Sodium is a soft, silvery-white, highly reactive metal that is never found in nature in the uncombined state. Sodium, an alkali-metal element, has a strong tendency to exist in the ionic form. In biological systems and even in solids such as sodium chloride, sodium remains distinctly separate as the sodium ion.

In Canada, sodium is produced primarily as sodium chloride (salt or halite), sodium sulphate (salt cake), and sodium phosphates. The major sources are the underground salt deposits of Saskatchewan, Alberta, Nova Scotia, and southwestern Ontario and the naturally occurring brines of southern Alberta and Saskatchewan lakes. Canadian production in 1983 amounted to approximately 10.3 million tonnes of sodium chloride, 0.4 tonnes of sodium sulphate, and 0.06 tonnes of sodium phosphate. Close to 1.5 million tonnes of sodium chloride in various forms were imported in 1983, along with 0.02 tonnes of sodium phosphates and sodium sulphates. The export of 1.9 million tonnes of "salt and brine" also was recorded in 1983.[1,2]

Production of such industrial chemicals as caustic soda, chlorine, sodium carbonate, sodium chlorate, sodium chlorite, sodium bicarbonate, and sodium hypochlorite accounts for the greatest single use of sodium chloride in Canada (3.5 million tonnes in 1983). Most of the remaining salt (2.7 million tonnes in 1983) is necessary for snow and ice control. Significant quantities are also needed in the food processing, grain milling, slaughtering and meat packing, pulp and paper milling, leather tanning, textile, and brewing industries.[2]

Canadian industrial consumption of sodium sulphate occurs mainly in the pulp and paper, glass and glass-wool, and soap industries. Sodium sulphate is also employed in lesser amounts in the manufacture of pigments and colours, in base-metal smelting, in the manufacture of medicinal and industrial chemicals, and as a mineral feed supplement.[1,2]

Occurrence

Sodium is the most abundant of the alkali elements and constitutes 2.6 percent of the Earth's crust.[3] Compounds of sodium are widely distributed in nature. Weathering of salt deposits and contact of water with igneous rock provide natural sources of sodium.[4]

Most soils contain sodium in the range of 0.1 to 1 percent, mainly as silicate minerals such as amphiboles and feldspars. A few soils are "salt-affected", containing large amounts of soluble and exchangeable sodium; the solonetzic soils of western Canada contain water-soluble sodium at concentrations up to 9 g/L.[5] When the sodium content of the soil solution is high, the sodium concentration in the ground water is also usually high and can increase salinity in rivers and streams.

An estimated 25 to 50 percent of salt used on roads for snow and ice control enters the ground water and can elevate levels of sodium in public water supplies.[6] Other potential sources of sodium contamination of water supplies are sewage and industrial effluents, seawater intrusion in coastal areas, and the use of sodium compounds for corrosion control and water-softening processes. Smaller quantities are introduced through leaching of sodium compounds from "normal" soils and the use of sodium hypochlorite for disinfection and sodium fluoride for control of tooth decay.

Because of the high solubility of sodium minerals, sodium is ubiquitous in the water environment. Sodium concentrations vary considerably depending on regional and local hydrological and geological conditions, the time of year, and salt utilization patterns. In ground waters, sodium concentrations normally range between 6 and 130 mg/L;[7] much higher levels may be associated with saline salts as noted above. Sodium concentrations in Canadian surface waters range from less than 1 mg/L to more than 300 mg/L, depending

101-02118/

upon the source of the sodium and the geography of the area.[4] For example, concentrations of 0.7 mg/L at the mouth of the Coppermine River, Northwest Territories, and 305 mg/L for the closed basin waters at Gravelbourg, Saskatchewan, have been reported.[8] The data accumulated over recent years for the Great Lakes – St. Lawrence River system indicate that sodium levels for the system below Lake Huron have been steadily increasing as a result of anthropogenic activities.[8] Levels, however, are still below the natural sodium concentrations found in many other surface water systems.

A nation-wide survey of concentrations of various elements in drinking water supplying 122 municipalities, or 36 percent of the Canadian population, found that drinking water at the consumer's tap contained approximately 5.6 mg/L of sodium, as a national median, with concentrations ranging from 0.3 to 242 mg/L.[9] Median concentrations were below 10 mg/L in most provinces, between 10 and 20 mg/L in Manitoba, and about 40 mg/L in Saskatchewan. Fairly high sodium concentrations were found in a few water supplies: for example, Vermilion, Alberta, with 226 mg/L, and Brandon, Manitoba, with 128 mg/L. Similar results were found in a 1963 survey of sodium concentrations in 2100 U.S. public water supplies, which showed a range of <1 mg/L to >1 g/L; 77 percent of these supplies had less than 50 mg/L.[10]

The use of water-softening chemicals can dramatically increase the sodium concentration. For example, the sodium sulphate concentration of the Edmonton water supply was found to rise from 8 mg/L in summer to 56 mg/L in winter because of the use of lime-soda ash for softening.[11]

Sodium occurs naturally in all foods. Natural levels vary considerably for different types of food, and food processing can have a marked effect on these levels. Unprocessed, raw vegetables contribute 33 mg of sodium per 100 g of vegetables consumed, whereas processed vegetables contribute 227 mg/100 g. Unprocessed cereal products contain 3 mg/100 g of cereal consumed, and processed products 386 mg/100 g.[12]

Canadian Exposure

A diet based on Canadian figures for food consumption contains 1.15 g of sodium per 1000 kcal per day, or 2.9 g of sodium per person per day (assuming a daily intake of 2500 kcal per person).[13] A 2500-kcal diet composed of unprocessed foods only contains 460 mg of sodium.[12] Thus, it is concluded that more than 80 percent of sodium in the Canadian diet is contributed by processing of foods by the food industry or in the home.[12] Assuming a daily intake of 1.5 L of drinking water[14] at the national median sodium concentration of 5.6 mg/L, drinking water would contribute only 0.3 percent to the total sodium intake.[9] Any estimate of total daily intake of sodium could be greatly altered by addition of salt to food during meal preparation or at the table. Some drinking water supplies have high sodium concentrations, influencing the impact of drinking water on total sodium intake. In Manitoba, where some supplies have 250 mg/L of sodium,[9] the contribution to total daily sodium could be about 400 mg or 15 percent. There are, as well, wide variations in sodium intake levels between individuals, and in the same individual from day to day.[15] In western Europe and North America, present sodium chloride consumption is estimated to be 5 to 20 g/day, with an average of approximately 10 g/day (which would supply 4 g of sodium per day).[16]

Treatment Technology

Large amounts of sodium-containing chemicals used in the treatment of public water supplies, as well as in domestic water-softening processes, can be important sources of sodium in drinking water. The lime-soda ash purification process may contribute significant quantities of sodium if a large concentration of non-carbonate hardness must be removed. Other sodium-containing chemicals are used in water processing: sodium fluoride (NaF) or sodium silicofluoride (Na_2SiF_6) for fluoridation; sodium hydroxide (NaOH), sodium carbonate (Na_2CO_3), and sodium bicarbonate ($NaHCO_3$) for corrosion control; sodium hypochlorite ($NaHClO_3$) for disinfection; and certain coagulants. Processes used to reduce lead and copper solvency in water supplies, involving partial desoftening of water, can increase sodium content by approximately 30 mg/L. Correction of pH with sodium hydroxide can cause a 12 mg/L increase in sodium depending on the buffering capacity of the water. In domestic water softening using ion-exchange resins, for every 40 mg of calcium per litre exchanged the sodium concentration in the treated water will rise by 46 mg/L.

Health Considerations

Essentiality

Sodium is the most abundant cation in the extracellular fluid. It is largely associated with chloride and bicarbonate in regulation of acid–base equilibrium. Maintenance of the osmotic pressure of body fluid, and thus prevention of excess fluid loss, is another important function of sodium. Sodium also acts in preserving the normal irritability of muscle and permeability of cells. The minimum sodium chloride requirement is about 120 mg/day (approximately 50 mg of sodium in this form).[17]

Water and electrolyte balances are maintained by dietary intake in food and water and loss in urine, faeces, perspiration, expired air, active renal filtration,

and ion absorption mechanisms. The standard 70-kg human adult contains approximately 69 g of metabolically active sodium and 45 L of water. Normally 1.5 to 2 L of water and 2.3 g of sodium are lost each day in the urine; about 100 mL of water and 350 mg of sodium are eliminated daily in the faeces. Normal loss of water and electrolytes in perspiration and expired air, about 900 mL, is considered to be unimportant in water and electrolyte homeostasis, because it is minor in comparison with renal and intestinal losses and functions. Uncontrollable losses can become important, however, in cases of gross deficiency of sodium intake.

The control of water and sodium balance is achieved through a complex interrelated system involving both nervous and hormonal systems. The balance is maintained by renal function rather than by control of absorption through the gut. The most important factor controlling renal sodium loss is the mineralocorticoid hormone, aldosterone. This hormone is secreted by the adrenal cortex and is under the feedback control of primarily the renin–angiotensin system, circulating electrolyte levels, and body orientation. There are also non-aldosterone factors that affect sodium excretion. Changes in glomerular filtration rate (GFR) and tubular function will alter the net reabsorption rate. There is a postulated third factor, the natriuretic factor, which may inhibit sodium reabsorption in the proximal tubule in response to an expansion in plasma volume. It has been suggested that in oedematous states marked by increased levels of interstitial fluid, this third factor has not been secreted in a normal fashion.

Increases in the plasma sodium concentration stimulate the osmoreceptors in the hypothalamic centre regardless of fluid volume, with the resultant sensation of thirst. In addition, the neurohypophysis is stimulated, and antidiuretic hormone, which is stored in the posterior pituitary, is released into the bloodstream. This hormone acts at a distal tubule, increasing its permeability to water and consequently water reabsorption. In this way, plasma osmolarity, which is dependent primarily on sodium concentration, controls water intake and loss.

Adverse Effects

Fluid volume controls sodium retention, and sodium concentration controls the amount of water in the body. The distribution of water across blood vessel walls depends upon the balance between the effective osmotic pressure of the plasma and the net outward hydrostatic pressures. Disturbances in this balance may occur for various reasons in some forms of hypertension, congestive cardiac failure, renal disease, cirrhosis, toxaemia of pregnancy, and Meniere's disease.

Because the body has very effective methods to control sodium levels, sodium is not an acutely toxic element in the normal range of environmental or dietary concentrations. There was one report, however, of the deaths of six of 14 infants mistakenly given salt at a concentration of 21 g/L in their formula.[18] (One gram of salt per kilogram body weight can be lethal in small children.) Toxic symptoms of sodium poisoning include general involvement of the central nervous system with increase in sensitivity, muscle twitching, tremors, cerebral and pulmonary oedema, and stupor.

The relationship between sodium intake and hypertension is unclear. Numerous studies have shown that reducing the sodium intake will lower blood pressure in hypertensives, but this definitely does not imply that increased sodium intake will cause hypertension. The epidemiological data relating to salt intake and blood pressure are controversial. There have been studies that show a positive correlation between sodium intake and hypertension[19,20] and others that do not.[21,22]

In a study of 348 children aged 7 to 12 years, some positive correlation was found between sodium levels in drinking water and an increase in blood pressure.[19] When fourth-grade children consumed a low-sodium drinking water, blood pressure levels decreased with sodium concentrations in girls but not in boys.[20] Another study of 216 female teenagers showed no correlation between sodium levels in drinking water and blood pressure.[22]

According to Freis,[23] "The primary factor relating salt to hypertension is the extracellular volume, including the plasma volume. Sodium is important in hypertension because it is the major determinant of extracellular fluid volume. An excess of salt in the diet can be handled by the normal human kidney, without expanding the extracellular fluid volume. However, in the case of renal failure, even a moderate sodium intake expands this space, and hypertension is aggravated. Conversely, when, and only when, sodium is restricted in the diet to the point of shrinking the extracellular fluid, will there be a significant fall in blood pressure in man".

Acceptable Daily Intake

As previously stated, the minimum daily requirement for sodium is approximately 50 mg for the average adult.[17] Average daily levels of sodium intake for adults range from 2 to 5 g.[16] Acceptable levels of sodium uptake from food and water have been estimated for various groups of adults and children.[17]

The World Health Organization (WHO) has assumed that adults on a typical sodium diet would consume 5 g of sodium per day; those on a relatively low sodium diet, 2 g/day; and those on a sodium-restricted diet, 500 mg/day.[17] An additional 40 mg of sodium was considered by the WHO to be contributed by drinking water, by assuming an individual's total

daily intake is 2 L of water containing 20 mg/L sodium. Even among adults on a sodium-restricted diet, such drinking water will account for only 7 percent of total intake. If, however, drinking water contains 200 mg/L sodium (levels that have been reported in some drinking water supplies), 44 percent of total sodium intake will be contributed by water in the case of those on a sodium-restricted diet. It is worth noting that the figures for sodium levels assumed by the WHO for diet and drinking water are considerably higher than levels actually measured in Canadian food and drinking water.

It appears that an intake of 92 to 184 mg of sodium per day is more than ample during the first year of life, and that growth rate would be readily satisfied by an intake as low as 30 to 41 mg/day.[24] An infant fed only breast milk would have a daily intake of 23 to 31 mg/kg body weight.[25] The maximum tolerated dose of newborns is 276 mg/kg body weight.[26] Children aged 1 to 5 years have an average intake of 2 g of sodium per day from food; at concentrations of 20 and 200 mg/L in drinking water, 1 and 13 percent of sodium, respectively, originate from the water.[17] According to the WHO, an infant of less than two months of age fed only formula would consume 250 mg of sodium per day from powdered formula and another 20 mg from water, assuming that the sodium concentration in water used to make the formula is 20 mg/L and that infants consume 1 L of formula per day. In this case, 7 percent of total sodium intake would be from water. With drinking water containing 200 mg/L sodium, however, 44 percent of total sodium would be contributed by the water supply.

The lowest level of sodium that can be achieved without great difficulty in a nutritionally adequate diet is about 440 mg.[27] (To achieve a level of 200 mg sodium per day, sometimes found to have an antihypertensive effect, salt-free bread and milk have to be used in conjunction with a judicious choice of other foods and absolutely no added salt.) To maintain an intake level of even 500 mg/day would require a limit on the sodium concentration in drinking water. If it is assumed that sodium from drinking water should make up only 10 percent of total sodium intake of persons on sodium-restricted diets, then concentrations in drinking water would have to be 20 mg/L or less (assuming 1.5 L of water consumption per day[14]). To maintain a level this low in public water supplies could incur considerable expense using currently available technologies.[28]

Other Considerations

An excessive level of sodium is easily detected by taste. In solutions at room temperature, taste thresholds for sodium present in salts such as sodium chloride and sodium sulphate are approximately 130 to 140 mg/L. Generally, the taste is offensive at a concentration of >200 mg/L sodium (whether chloride or sulphate); however, sensitive individuals may find the taste objectionable at concentrations between 175 and 185 mg/L sodium.[16] There is, therefore, a built-in restriction on acceptable sodium levels in drinking water. The taste threshold of sodium in water can be altered by habituation and depends as well upon the associated anion, the temperature of the solution, and individual salt-eating habits.

Rationale

1. Sodium is not considered to be a toxic element. Up to 5 g/day of sodium is consumed by normal adults without apparent adverse effects. Although numerous studies have shown that reducing sodium intake will lower blood pressure in hypertensives, it cannot be inferred that increased sodium intake will cause hypertension. A maximum acceptable concentration for sodium in drinking water has therefore not been established.

2. Generally, the taste of drinking water is offensive at a sodium concentration above 200 mg/L. The aesthetic objective for sodium in drinking water is therefore ≤200 mg/L.

3. To maintain a total daily sodium intake of 500 mg, as is widely prescribed for persons on a sodium-restricted diet, would require a sodium concentration in drinking water no higher than 20 mg/L. Reduction of the sodium content of a number of supplies to this level would generally incur considerable expense using currently available technologies. It is therefore recommended that sodium be included in routine monitoring programmes, because levels may be of interest to authorities who wish to prescribe sodium-restricted diets for their patients.

References

1. Barry, G.S. Sodium sulphate. In: Canadian minerals yearbook, 1983–1984. Review and outlook. Mineral Resources Branch, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa (1985).

2. Prud'homme, M. Salt. In: Canadian minerals yearbook, 1983–1984. Review and outlook. Mineral Resources Branch, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa (1985).

3. Weast, R.C. (ed.). Sodium. In: Handbook of chemistry and physics. 52nd edition. CRC Press, Cleveland, OH (1971–1972).

4. Ontario Ministry of the Environment. Outlines of analytical methods: a guide to the occurrence, significance, sampling and analysis of chemical and microbiological parameters in water, sediment, soil, vegetation and air. Co-ordinated by Water Quality Section, Laboratory Services Branch, Toronto (1981).

5. Bowser, W.E., Milne, R.A. and Cairns, R.R. Characteristics of the major soil groups in an area dominated by solonetzic soils. Can. J. Soil Sci., 42: 165 (1962).

6. McConnell, H.H. and Lewis, J. Add salt to taste. Environment, 14: 38 (1972).

7. Bond, R.G. and Straub, C.P. Genetic types of subterranean waters in relation to their salinity. In: Handbook of environmental control. Vol. 3. Water supply and treatment. 1st edition. CRC Press, Cleveland, OH. p. 85 (1973).

8. International Lake Erie and Lake Ontario – St. Lawrence River Water Pollution Boards. Report to the International Joint Commission on the pollution of Lake Ontario and the international section of the St. Lawrence River. Vol. 3. Lake Ontario and the international section of the St. Lawrence River (1969).

9. Subramanian, K.S. and Méranger, J.C. A survey for sodium, potassium, barium, arsenic, and selenium in Canadian drinking water supplies. At. Spectrosc., 5: 34 (1984).

10. White, J.M. *et al.* Sodium ion in drinking water. 1. Properties, analysis and occurrence. J. Am. Diet. Assoc., 50: 32 (1967).

11. Elliot, G.B. and Alexander, E.A. Sodium from drinking water as an unsuspected cause of cardiac decompensation. Circulation, 23: 562 (1961).

12. Shah, B.G. and Belonje, B. Calculated sodium and potassium in the Canadian diet if comprised of unprocessed ingredients. Nutr. Res., 3: 629 (1983).

13. Shah, B.G., Giroux, A. and Belonje, B. Sodium and potassium content in the Canadian diet. Nutr. Res., 2: 669 (1982).

14. Armstrong, V.C., Holliday, M.G. and Schrecker,T.F. Tap water consumption in Canada. Environmental Health Directorate Report 82-EHD-80, Department of National Health and Welfare, Ottawa (1981).

15. Bauber, T.R. *et al.* In: Environmental factors in hypertension. J. Stamber, R. Stamber and T.N. Pullman (eds.). Grune and Stratton, New York, NY (1967).

16. World Health Organization. Sodium, chlorides and conductivity in drinking water. EURO Reports and Studies No. 2. Regional Office for Europe, Copenhagen (1979).

17. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Ch. 16. Geneva. pp. 145–151 (1984).

18. Finberg, L., Kiley, J. and Luttrel, C.N. Mass accidental poisoning in infancy. J. Am. Med. Assoc., 184: 187 (1963).

19. Hofman, A. Blood pressure and sodium intake: evidence from two Dutch studies. In: Advances in modern environmental toxicology. Vol. X. Inorganics in drinking water and cardiovascular disease. Ch. V. Princeton Scientific Publ. Co., Princeton, NJ. p. 4 (1985).

20. Calabrese, E.J. and Tuthill, R.W. The Massachusetts blood pressure study. Part 3. Experimental reduction of sodium in drinking water: effects on blood pressure. In: Advances in modern environmental toxicology. Vol. IX. Inorganics in drinking water and cardiovascular disease. Ch. III. Princeton Scientific Publ. Co., Princeton, NJ. p. 19 (1985).

21. Margetts, B.M. and Armstrong, B.K. Water sodium, blood pressure and cardiovascular mortality in western Australia. In: Advances in modern environmental toxicology. Vol. IX. Inorganics in drinking water and cardiovascular disease. Ch. VIII. Princeton Scientific Publ. Co., Princeton, NJ. p. 69 (1985).

22. Tuthill, R.W. and Calabrese, E.J. The Massachusetts blood pressure study. Part 4. Modest sodium supplementation and blood pressure change in boarding school student. In: Advances in modern environmental toxicology. Vol. IX. Inorganics in drinking water and cardiovascular disease. Ch. VIII. Princeton Scientific Publ. Co., Princeton, NJ. p. 69 (1985).

23. Freis, E.D. Modern management of hypertension. Veterans' Administration, Washington, DC. p. 2 (1973).

24. Dahl, L.K. Salt in processed baby foods. Am. J. Clin. Nutr., 21: 787 (1968).

25. Fomon, S.J. Infant nutrition. Saunders, Philadelphia, PA (1967).

26. Aperia, A., Brabeger, O. and Thodenius, K. Renal response to an oral sodium load in newborne full-term infants. Acta Paediatr. Scand., 61: 670 (1972).

27. U.S. Environmental Protection Agency. Statement of basis and purpose for the national interim primary drinking water regulations (1975).

28. National Academy of Sciences/National Academy of Engineering. Water quality criteria, 1972. U.S. National Research Council, Washington, DC (1974).

Le sodium

Pour des raisons de qualité esthétique ou organoleptique, l'objectif fixé pour la concentration du sodium dans l'eau potable a été fixé à *≤200 mg/L*. On considère ordinairement le goût de l'eau potable comme désagréable lorsque la concentration du sodium dépasse ce niveau. Le sodium n'est pas considéré comme toxique : un adulte normal en absorbe jusqu'à 5 g/jour. Même si l'apport moyen de sodium provenant de l'eau potable ne représente qu'une petite partie de ce qui est absorbé dans une alimentation normale, l'apport de sodium provenant de cette source peut être important pour les personnes souffrant d'hypertension ou d'insuffisance cardiaque, qui doivent en général suivre un régime alimentaire hyposodé. On recomande donc d'inclure ce métal dans les programmes de surveillance de la composition de l'eau, ce qui permet d'informer les médecins prescrivant des régimes hyposodés à leurs clients.

Généralités

Le sodium est un métal mou, blanc argenté et fortement réactif qui, dans la nature, ne se rencontre qu'à l'état combiné. Ce métal alcalin se présente fréquemment sous forme ionisée. On observe que, dans les milieux biologiques et même dans les solides tels que le chlorure de sodium, le métal garde l'état ionisé.

Au Canada, on utilise surtout ce métal sous forme de chlorure de sodium (sel de cuisine ou sel gemme), de sulfate de sodium brut et de phosphates de sodium. Les principales sources en sont les gisements souterrains de sel gemme et autres de la Saskatchewan, de l'Alberta, de la Nouvelle-Écosse et du Sud-Ouest de l'Ontario, ainsi que les marais salants naturels du Sud de l'Alberta et de la Saskatchewan. En 1983, la production du Canada a atteint environ 10,3 millions de tonnes de chlorure de sodium, 0,4 tonne de sulfate de sodium et 0,06 tonne de phosphates de sodium. La même année, le Canada a importé près de 1,5 millions de tonnes de chlorure de sodium sous diverses formes, outre 0,02 tonne de phosphates et de sulfate de sodium. L'exportation de 1,9 millions de tonnes de «sel et saumure» a également été enregistrée en 1983.[1,2]

Au Canada, on utilise surtout le chlorure de sodium pour la fabrication de produits chimiques industriels tels que la soude caustique, le chlore, le carbonate de sodium (soude du commerce), le chlorate de sodium, le chlorite de sodium, le bicarbonate de sodium et l'hypochlorite de sodium (3,5 millions de tonnes en 1983). Le sel brut restant (2,7 millions de tonnes en 1983) sert surtout comme déglaçant routier. On utilise de notables quantités de sel pour la fabrication de produits alimentaires, la mouture du grain, la salaison et les conserves de viande, la fabrication des pâtes et papiers, le tannage du cuir, la fabrication des textiles et le brassage de la bière.[2]

Le sulfate de sodium est surtout utilisé dans les usines de pâtes et papiers, les fabriques de laine de verre, les verreries et les savonneries. On l'utilise aussi, en plus petites quantités, pour la fabrication des pigments et des couleurs, l'extraction des métaux industriels, la fabrication des produits chimiques industriels et pharmaceutiques ainsi que comme complément minéral des provendes.[1,2]

Présence dans l'environnement

Le sodium est le plus abondant de tous les métaux alcalins, et il constitue 2,6 % de la croûte terrestre.[3] Ses composés sont très répandus dans la nature. La dissolution des gisements de sel gemme et la météorisation des roches ignées constituent deux sources naturelles du sodium dans l'environnement.[4]

La plupart des sols en contiennent une teneur de 0,1 à 1 %, principalement sous forme de silicates tels que les amphiboles et les feldspaths. Les terres sodiques contiennent de grandes quantités de sodium soluble et échangeable; ainsi les solonetz de l'Ouest canadien ont une teneur en sodium hydrosoluble allant jusqu'à 9 g/L.[5] Habituellement, lorsque la teneur en sodium du sol en suspension est élevée, celle des eaux souterraines l'est également, augmentant ainsi la salinité des ruisseaux et des rivières.

On estime que de 25 à 50 % du sel servant à déglacer les routes pénètre dans les eaux souterraines, risquant ainsi d'accroître la salinité des eaux potables des réseaux publics de distribution.[6] Les eaux d'égout, les effluents industriels, la pénétration de l'eau de mer dans le sol du littoral et l'utilisation de composés de sodium pour lutter contre la corrosion et déminéraliser

les eaux constituent d'autres sources de contamination de l'environnement par le sodium. De plus petites quantités de cet élément sont libérées par la lixiviation de sels minéraux contenus dans le sol normal ou disséminées par l'utilisation d'hypochlorite de sodium pour la désinfection et de fluorure de sodium pour la prévention de la carie dentaire.

À cause de la forte solubilité de ses minéraux, le sodium se retrouve partout dans le milieu aquatique. Ses concentrations varient considérablement selon les paramètres hydrologiques et géologiques régionaux et locaux, la saison et le mode d'utilisation du sel. Les eaux souterraines ont normalement une teneur en sodium allant de 6 à 130 mg/L.[7] La présence de minéraux sodiques dans le voisinage peut causer des concentrations beaucoup plus élevées, comme on l'a fait remarquer précédemment. Au Canada les eaux superficielles contiennent des concentrations de sodium allant de moins de 1 mg/L à plus de 300 mg/L, selon la source de sodium et les caractéristiques géographiques de la région.[4] Par exemple, on a signalé des teneurs de 0,7 mg/L à l'embouchure de la rivière Coppermine (Territoires du Nord-Ouest), et de 305 mg/L dans les eaux du bassin hydrographique fermé de Gravelbourg (Saskatchewan).[8] Les données accumulées au cours des dernières années concernant le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent montrent une augmentation régulière de la salinité des eaux de la partie aval du lac Huron, par suite des activités humaines.[8] Toutefois, les teneurs se situent encore en-dessous des concentrations naturelles de sodium trouvées dans beaucoup d'autres bassins hydrographiques.

Selon une étude effectuée à l'échelle nationale sur les concentrations de divers éléments dans l'eau potable de 122 réseaux publics de distribution alimentant 36 % de la population canadienne, l'eau ainsi fournie aux consommateurs contiendrait de 0,3 à 242 mg de sodium par litre, soit une médiane nationale d'environ 5,6 mg/L.[9] Pour la plupart des provinces, la médiane correspondante était inférieure à 10 mg/L, mais les teneurs allaient de 10 à 20 mg/L au Manitoba, et elle atteignait environ 40 mg/L en Saskatchewan. On a trouvé des concentrations de sodium passablement élevées dans l'eau de quelques réseaux publics de distribution; par exemple, à Vermilion (Alberta), 226 mg/L, et à Brandon (Manitoba), 128 mg/L. En 1963, on a recueilli des données similaires à la suite d'une étude sur les concentrations de sodium dans l'eau potable de 2 100 réseaux publics de distribution des États-Unis, où l'on a observé des teneurs allant de <1 mg/L à >1 g/L; 77 % de ces eaux potables contenaient moins de 50 mg de sodium par litre.[10]

L'utilisation de produits chimiques pour déminéraliser l'eau peut augmenter très fortement la concentration du sodium. Par exemple, on s'est aperçu que la concentration du sulfate de sodium dans l'eau du réseau public de distribution d'Edmonton passait de 8 mg/L en été à 56 mg/L en hiver à cause de l'utilisation de chaux et de soude pour adoucir l'eau.[11]

Le sodium est un constituant naturel de tous les aliments. Les teneurs varient considérablement selon les différents types d'aliments, et leur transformation peut avoir un effet marqué sur ces teneurs. Cent grammes de légumes crus et non transformés contiennent 33 mg de sodium, mais ceux qui sont transformés en contiennent 227 mg/100 g. Cent grammes de produits céréaliers non transformés en renferment 3 mg et les produits céréaliers transformés, 386 mg/100 g.[12]

Exposition des Canadiens

L'alimentation quotidienne du Canadien moyen contient 1,15 g de sodium par 1 000 kcal, soit 2,9 g de sodium par personne et par jour (en supposant un apport énergétique quotidien de 2 500 kcal par personne).[13] Un régime alimentaire de 2 500 kcal, composé d'aliments non transformés, ne contient que 460 mg de sodium.[12] Ainsi, on conclut que plus de 80 % du sodium contenu dans l'alimentation du Canadien moyen provient de la transformation des aliments dans l'industrie ou dans la cuisine.[12] En supposant que la consommation quotidienne d'eau soit de 1,5 L[14] contenant la teneur médiane nationale de 5,6 mg de sodium par litre, cette eau ne fournirait que 0,3 % de l'apport total de ce métal.[9] L'addition de sel dans les denrées alimentaires au cours de la préparation des repas ou à table modifierait fortement l'évaluation de cet apport total. Les eaux de certains réseaux publics de distribution contiennent des concentrations de sodium élevées, augmentant ainsi leur contribution à l'apport total. Au Manitoba, où les eaux de certains réseaux de distribution contiennent jusqu'à 250 mg/L de sodium,[9] leur contribution à l'apport total quotidien pourrait atteindre 15 %, soit 400 mg. Les quantités de sodium ingérées varient également beaucoup d'un individu à l'autre et pour le même individu, d'un jour à l'autre.[15] On estime qu'en Europe occidentale et en Amérique du Nord, la consommation individuelle de chlorure de sodium se situe entre 5 et 20 g/jour, soit une moyenne d'environ 10 g/jour (ce qui fournirait 4 g de sodium par jour).[16]

Techniques de traitement des eaux

L'utilisation de fortes quantités de produits chimiques contenant du sodium pour le traitement de l'eau potable distribuée par les réseaux publics ainsi que pour la déminéralisation domestique de l'eau peut accroître fortement le taux de concentration de ce métal dans l'eau potable. C'est ce que fait le procédé d'adoucissement par la chaux et la soude, si l'eau dure contient une forte teneur en minéraux non carbonatés.

D'autres produits chimiques contenant cet élément sont aussi utilisés : le fluorure de sodium (NaF) ou le silicofluorure de sodium (Na_2SiF_6) pour la fluoration de l'eau; l'hydroxyde de sodium (NaOH), le carbonate de sodium (Na_2CO_3) et le bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$) pour la lutte contre la corrosion; l'hypochlorite de sodium ($NaHClO_3$) pour l'assainissement, et certains coagulants. Les procédés permettant de réduire la solubilité du plomb et du cuivre dans l'eau potable, qui nécessitent une reminéralisation partielle de l'eau, accroissent sa teneur en sodium d'approximativement 30 mg/L. La modification du pH à l'aide d'hydroxyde de sodium peut aussi augmenter cette teneur de 12 mg/L, en fonction de l'effet tampon de l'eau. Au cours de l'adoucissement domestique de l'eau par des résines échangeuses d'ions, la teneur de l'eau traitée en sodium augmente de 46 mg/L chaque fois que 40 mg de calcium sont échangés.

Effets sur la santé

Besoins essentiels

Le sodium constitue le cation le plus abondant du milieu extracellulaire. Il se trouve largement sous forme de chlorure et de bicarbonate assurant la régulation de l'équilibre acido-basique. Une autre fonction importante du sodium consiste à maintenir la pression osmotique du milieu intérieur et ainsi à prévenir les pertes de liquide. Il permet aussi de maintenir à un niveau normal l'excitabilité musculaire et la perméabilité cellulaire. L'organisme a besoin au minimum d'environ 120 mg/jour de chlorure de sodium (contenant environ 50 mg de sodium).[17]

L'équilibre hydroélectrolytique est maintenu par l'apport de sodium par la voie digestive, sous forme de nourriture et d'eau, et par l'élimination du métal dans les urines, les fèces, la sueur, l'air expiré, la filtration rénale active et les mécanismes d'absorption ionique. Le corps d'un homme normal, pesant 70 kg, contient environ 69 g de sodium métabolique ainsi que 45 L d'eau. Normalement, 1,5 à 2 L d'eau et 2,3 g de sodium sont éliminés chaque jour dans les urines, et environ 100 mL d'eau et 350 mg de sodium dans les fèces. Une perte normale d'eau et d'électrolytes dans la sueur et l'air expiré, d'à peu près 900 mL, n'est pas considérée comme importante pour l'homéostasie hydro-électrolytique, car elle est mineure en comparaison des pertes et des activités fonctionnelles rénales et intestinales. Cependant, les pertes non compensées peuvent devenir importantes en cas de carence alimentaire en sodium.

La régulation de l'équilibre entre eau et sodium est assurée par un mécanisme interdépendant complexe, faisant intervenir le système nerveux et les relais hormonaux. L'équilibre est maintenu par la fonction rénale plutôt que par la régulation de l'absorption intestinale. Le facteur le plus important régulant l'élimination rénale de sodium est l'hormone minéralocorticoïde, l'aldostérone. Celle-ci est sécrétée par le cortex surrénal et se trouve régulée par rétroaction du système rénine-angiotensine, principalement, des teneurs d'électrolytes circulants, et de la position du corps. Certains facteurs autres que l'aldostérone influencent l'excrétion de sodium. Les modifications du débit de filtration glomérulaire et de la fonction tubulaire déterminent le taux net de réabsorption. On suppose l'existence d'un troisième facteur, le facteur natriurétique, qui inhibe la réabsorption du sodium dans le tubule proximal pour répondre à une expansion du volume plasmatique. On suppose que, lors d'états œdémateux caractérisés par des teneurs accrues du liquide interstitiel en sodium, ce troisième facteur n'a pas été sécrété de façon normale.

L'augmentation de la concentration de sodium dans le plasma stimule les récepteurs osmotiques situés dans le centre hypothalamique, indépendamment du volume du liquide, et provoque une sensation de soif. De plus, la neurohypophyse est stimulée et l'hormone anti-diurétique, qui est stockée dans le lobe postérieur de l'hypophyse, est libérée dans le sang. Cette hormone agit au niveau du tubule distal en augmentant sa perméabilité à l'eau et, par conséquent, la réabsorption de celle-ci. De cette façon, l'osmolarité du plasma, qui dépend essentiellement de la concentration de sodium, régule l'absorption et l'élimination de l'eau.

Effets nocifs

Le volume du liquide régule la rétention du sodium et la concentration de ce dernier régule la quantité d'eau dans le corps. La répartition de l'eau de part et d'autre des parois des vaisseaux sanguins dépend de l'équilibre entre la pression osmotique effective du plasma et les pressions hydrostatiques externes nettes. Cet équilibre peut être perturbé pour différentes raisons : certaines formes d'hypertension, insuffisance cardiaque, néphropathies, cirrhose, toxémie gravidique ou maladie de Ménière.

Comme le corps possède des mécanismes très efficaces de régulation des teneurs en sodium du milieu interne, ce métal n'est pas fortement toxique aux concentrations où on le trouve normalement dans l'environnement ou dans l'alimentation. Toutefois, on a signalé un cas d'intoxication de 14 nourrissons à qui on avait donné, par erreur, du lait maternisé contenant 21 g de sel par litre, intoxication suivie de six décès.[18] (Une dose de sel égale à 1 g/kg de poids corporel peut être mortelle pour le jeune enfant.) Parmi les symptômes d'empoisonnement au sodium, mentionnons : l'atteinte du système nerveux central, une sensibilité exacerbée,

des spasmes musculaires, des tremblements, un œdème cérébral ou pulmonaire et un état de stupeur.

On n'a pas éclairci le rapport entre absorption de sodium et hypertension. De nombreuses études ont montré qu'une réduction de l'apport de sodium fait baisser la pression artérielle des hypertendus, mais il n'en ressort nullement qu'une augmentation de cet apport causera de l'hypertension. Les données épidémiologiques concernant le rapport entre l'absorption de sel et la pression artérielle sont controversées. Certains auteurs ont fait état d'une corrélation positive entre la dose de sodium ingérée et l'hypertension,[19,20] alors que d'autres n'en ont établi aucune.[21,22]

Une étude portant sur 348 enfants âgés de 7 à 12 ans a montré une certaine corrélation positive entre la teneur de l'eau potable en sodium et l'augmentation de la pression artérielle.[19] Chez des écoliers de quatrième année qui buvaient de l'eau à faible teneur en sodium, la pression artérielle baissait à mesure que les concentrations devenaient plus faibles; ce phénomène ne s'est produit que chez les filles, et non chez les garçons.[20] Une autre étude portant sur 216 adolescentes n'a établi aucune corrélation entre la teneur de l'eau potable en sodium et la pression artérielle.[22]

Selon Freis,[23] «le volume du milieu extracellulaire, y compris le volume plasmatique, est le principal facteur du rapport entre sel et hypertension. Étant donné que la quantité de sodium constitue le facteur déterminant du volume du liquide extracellulaire, il joue un rôle important dans l'hypertension. Le rein humain normal peut éliminer un excès de sel dans l'alimentation, empêchant ainsi un accroissement du volume de ce liquide. Cependant, dans le cas d'une insuffisance rénale, l'apport d'une quantité même modérée de sel accroît ce volume et aggrave l'hypertension. Inversement, il ne se produit une réduction notable de la pression artérielle que lorsqu'on réduit fortement la quantité de sodium présente dans l'alimentation, entraînant ainsi une contraction du volume du liquide extracellulaire» (traduction libre).

Apport quotidien acceptable

Comme nous l'avons déjà dit, l'adulte a besoin en général d'au moins 50 mg de sodium par jour.[17] Les doses consommées quotidiennement par les adultes varient de 2 à 5 g.[16] On a établi les doses acceptables que peuvent absorber avec leur nourriture et leur eau potable divers groupes d'adultes et d'enfants.[17]

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) présume que les adultes ayant une alimentation d'une teneur normale en sodium en consomment 5 g/jour et que ceux qui suivent un régime hyposodé en ingèrent 2 g/jour, et enfin que ceux qui suivent un régime sans sel n'en consomment que 500 mg/jour.[17] L'OMS estime qu'un apport supplémentaire de 40 mg de sodium est fourni par l'eau potable, en admettant que l'individu en consomme au total 2 L/jour et que la teneur en sodium de cette eau est de 20 mg/L. Même chez les adultes qui suivent un régime sans sel, cette eau ne fera qu'une contribution de 7 % àl'apport total. Cependant, si l'eau potable contient 200 mg/L de sodium (teneur de l'eau potable de certains réseaux de distribution), elle fournira 44 % de l'apport total de cet élément à ceux qui suivent un régime sans sel. On doit noter que les doses de sodium admises par l'OMS pour l'alimentation et l'eau potable sont beaucoup plus fortes que celles mesurées dans la nourriture et l'eau potable des Canadiens.

Il semble qu'un apport quotidien de 92 à 184 mg de sodium soit plus que suffisant au cours de la première année de vie, et que même un apport relativement faible de 30 à 41 mg/jour suffirait à assurer un bon rythme de croissance.[24] Le nourrisson nourri seulement au lait maternel obtient un apport quotidien de sodium allant de 23 à 31 mg/kg de poids corporel.[25] La dose maximale tolérée pour le nouveau-né est de 276 mg/kg de poids corporel.[26] Les enfants âgés de 1 à 5 ans absorbent, avec leur nourriture, 2 g de sodium en moyenne par jour. Comme l'eau potable contient des concentrations de sodium allant de 20 à 200 mg/L, elle apporterait de 1 à 13 % respectivement de l'apport total de sodium.[17] D'après l'OMS, le nourrisson âgé de moins de deux mois, nourri seulement au lait maternisé, absorbe quotidiennement 250 mg de sodium contenus dans ce lait en poudre, auxquels il faut en ajouter 20 mg provenant de l'eau; on a calculé ces quantités en supposant que la teneur en sodium de l'eau qui sert àdélayer ce lait est de 20 mg/L, et que le nourrisson consomme 1 L de lait par jour. Dans ce cas, 7 % de l'apport total de sodium proviendrait de l'eau. Si, cependant, celle-ci contenait 200 mg/L de sodium, elle fournirait 44 pour cent du sodium total absorbé.

La plus faible dose de sodium que l'on peut atteindre sans grande difficulté au cours de l'élaboration d'un régime alimentaire équilibré est d'environ 440 mg.[27] (Pour atteindre une dose de seulement 200 mg par jour, qui aurait parfois un effet hypotenseur, il faut manger du pain et boire du lait sans sel, choisir de façon judicieuse d'autres aliments et ne faire aucune addition de sel.) Pour éviter de dépasser même une dose de 500 mg/jour, il faut utiliser de l'eau potable à faible teneur en sel, et que celle-ci en contienne au plus 20 mg/L si l'on veut qu'elle n'apporte pas plus de 10 pour cent du sodium total absorbé par la personne soumise àun régime hyposodé (en admettant que celle-ci consomme 1,5 L d'eau par jour).[14] Les techniques actuelles ne permettraient de maintenir une teneur aussi faible dans les eaux des réseaux publics de distribution qu'à un coût très considérable.[28]

Autres considérations

On détecte aisément, au goût, la concentration excessive de sel dans l'eau. Les seuils de perception gustative du sodium contenu dans des solutions à température ambiante de chlorure de sodium et de sulfate de sodium sont approximativement de 130 à 140 mg/L. Généralement, l'eau a un goût désagréable si la concentration de sodium (sous forme de chlorure ou de sulfate) est supérieure à 200 mg/L. Les individus sensibles peuvent cependant percevoir ce goût si les concentrations de sodium varient entre 175 et 185 mg/L.[16] Il existe donc des limites esthétiques aux doses de sodium acceptables dans l'eau potable. L'accoutumance modifie le seuil de perception gustative du sodium contenu dans l'eau tout comme la nature de l'anion associé, la température de la solution et l'habitude de manger une nourriture plus ou moins salée.

Conclusions

1. Le sodium n'est pas considéré comme un métal toxique. Les adultes normaux peuvent en consommer jusqu'à 5 g/jour sans effets nocifs apparents. Bien que de nombreuses études aient montré qu'une réduction de l'apport de sodium entraîne une baisse de la pression artérielle chez les hypertendus, on ne peut en déduire qu'une augmentation de l'apport de cet élément provoquerait de l'hypertension. On n'a donc pas fixé de concentration maximale acceptable pour le sodium dans l'eau potable.

2. De façon générale, le goût de l'eau potable est jugé désagréable lorsque la concentration du sodium dépasse 200 mg/L. L'objectif de qualité esthétique ou organoleptique est donc fixé pour le sodium à ≤200 mg/L.

3. Pour que les personnes suivant un régime hyposodé ne dépassent pas la dose quotidienne totale de 500 mg, il faudrait que la teneur de l'eau potable en sodium ne dépasse pas 20 mg/L. Les techniques disponibles ne permettent d'atteindre cette teneur de sodium dans l'eau potable des réseaux publics qu'à un coût très élevé. On recommande donc d'inclure ce métal dans les programmes de surveillance régulière de la composition de l'eau potable, car ses concentrations peuvent intéresser les médecins qui désirent prescrire des régimes hyposodés à leurs clients.

Références bibliographiques

1. Barry, G.S. Sodium sulphate. Dans : Canadian minerals yearbook, 1983-1984. Review and outlook. Direction des ressources minérales, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa (1985).

2. Prud'homme, M. Salt. Dans : Canadian minerals yearbook, 1983-1984. Review and outlook. Direction des ressources minérales, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa (1985).

3. Weast, R.C. (dir. de publ.). Sodium. Dans : Handbook of chemistry and physics. 52e édition. CRC Press, Cleveland, OH (1971-1972).

4. Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Outlines of analytical methods: a guide to the occurrence, significance, sampling and analysis of chemical and microbiological parameters in water, sediment, soil, vegetation and air. Coordination de la Water Quality Section, Laboratory Services Branch, Toronto (1981).

5. Bowser, W.E., Milne, R.A. et Cairns, R.R. Characteristics of the major soil groups in an area dominated by solonetzic soils. Can. J. Soil Sci., 42 : 165 (1962).

6. McConnell, H.H. et Lewis, J. Add salt to taste. Environment, 14 38 (1972).

7. Bond, R.G. et Straub, C.P. Genetic types of subterranean waters in relation to their salinity. Dans: Handbook of environmental control Vol. 3. Water supply and treatment. 1re édition. CRC Press, Cleveland, OH. p. 85 (1973).

8. International Lake Erie and Lake Ontario – St. Lawrence River Water Pollution Boards. Report to the International Joint Commission on the pollution of Lake Ontario and the international section of the St. Lawrence River. Vol. 3. Lake Ontario and the international section of the St. Lawrence River (1969).

9. Subramanian, K.S. et Méranger, J.C. A survey for sodium, potassium, barium, arsenic, and selenium in Canadian drinking water supplies. At. Spectrosc., 5 : 34 (1984).

10. White, J.M. et coll. Sodium ion in drinking water. I. Properties, analysis and occurrence. J. Am. Diet. Assoc., 50 : 32 (1967).

11. Elliot, G.B. et Alexander, E.A. Sodium from drinking water as an unsuspected cause of cardiac decompensation. Circulation, 23 : 562 (1961).

12. Shah, B.G. et Belonje, B. Calculated sodium and potassium in the Canadian diet if comprised of unprocessed ingredients. Nutr. Res., 3 : 629 (1983).

13. Shah, B.G., Giroux, A. et Belonje, B. Sodium and potassium content in the Canadian diet. Nutr. Res., 2 : 669 (1982).

14. Armstrong, V.C., Holliday, M.G. et Schrecker, T.F. Tap water consumption in Canada. Environmental Health Directorate Report 82-EHD-80, Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social, Ottawa (1981).

15. Bauber, T.R. et coll. Dans: Environmental factors in hypertension. J. Stamber, R. Stamber et T.N. Pullman (dir. de publ.). Grune and Stratton, New York, NY (1967).

16. Organisation mondiale de la santé. Sodium, chlorides and conductivity in drinking water. EURO Reports and Studies nº 2. Bureau régional pour l'Europe, Copenhague (1979).

17. Organisation mondiale de la santé. Guidelines for drinking-water quality. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Ch. 16. Genève. p. 145 (1984).

18. Finberg, L., Kiley, J. et Luttrel, C.N. Mass accidental poisoning in infancy. J. Am. Med. Assoc., 184 : 187 (1963).

19. Hofman, A. Blood pressure and sodium intake: evidence from two Dutch studies. Dans : Advances in modern environmental toxicology. Vol. IX. Inorganics in drinking water and cardiovascular disease. Ch. V. Princeton Scientific Publ. Co., Princeton, NJ. p. 4 (1985).

20. Calabrese, E.J. et Tuthill, R.W. The Massachusetts blood pressure study. Part 3. Experimental reduction of sodium in drinking water: effects on blood pressure. Dans : Advances in modern environmental toxicology. Vol. IX. Inorganics in drinking water and cardiovascular disease. Ch. III. Princeton Scientific Publ. Co., Princeton, NJ. p. 19 (1985).

21. Margetts, B.M. et Armstrong, B.K. Water sodium, blood pressure and cardiovascular mortality in western Australia. Dans : Advances in modern environmental toxicology. Vol. IX. Inorganics in drinking water and cardiovascular disease. Ch. VIII. Princeton Scientific Publ. Co., Princeton, NJ. p. 69 (1985).

22. Tuthill, R.W. et Calabrese, E.J. The Massachusetts blood pressure study. Part 4. Modest sodium supplementation and blood pressure change in boarding school student. Dans : Advances in modern environmental toxicology. Vol. IX. Inorganics in drinking water and cardiovascular disease. Ch. VIII. Princeton Scientific Publ. Co., Princeton, NJ. p. 69 (1985).

23. Freis, E.D. Modern management of hypertension. Veterans' Administration, Washington, DC. p. 2 (1973).

24. Dhal, L.K. Salt in processed baby foods. Am. J. Clin. Nutr., 21 : 787 (1968).

25. Fomon, S.J. Infant nutrition. Saunders, Philadelphia, PA (1967).

26. Aperia, A., Brabeger, O. et Thodenius, K. Renal response to an oral sodium load in newborn full-term infants. Acta Paediatr. Scand., 61 : 670 (1972).

27. U.S. Environmental Protection Agency. Statement of basis and purpose for the national interim primary drinking water regulations (1975).

28. National Academy of Sciences/National Academy of Engineering. Water quality criteria, 1972. U.S. National Research Council, Washington, DC (1974).